

# HUITIEME COLLOQUE SUR LE TRAITEMENT DU SIGNAL ET SES APPLICATIONS

NICE du 1<sup>er</sup> au 5 JUIN 1981

---

ANALYSE RECURSIVE DES DEFORMATIONS D'IMAGES SONAR

C.A. DARMON

A. AYOUN

INRIA - B.P. 105  
Domaine de Voluceau  
78153 LE CHESNAY CEDEX

MATRA S.A. - B.P. 1  
78146 VELIZY VILLACOUBLAY CEDEX

---

## RESUME

Un sonar latéral fournit à chaque instant une image à une dimension d'une tranche de fond sous-marin. Les lignes successives ainsi acquises lorsqu'elles sont juxtaposées forment une image à deux dimensions.

Le problème résolu dans l'étude était de recalculer l'image obtenue lors d'un deuxième passage sur le fond vis-à-vis de l'image du même fond obtenue lors d'un premier passage.

La méthode utilisée est fondée sur le principe de recalage récursif.

Une ligne de la deuxième image étant située sur la première image, la détermination de la position de la ligne suivante bénéficie d'une estimation a priori qui résulte de la connaissance d'un modèle dynamique grossier de déplacement du système de prise de vue. La détermination fine est obtenue par une reconnaissance locale d'éléments caractéristiques des images. Les écarts entre éléments caractéristiques mis en correspondance apparaissent comme des mesures quasiment linéaires sur l'état du système et sont traités par un algorithme de type Kalman-Bucy.

La méthode a été validée sur des images réelles et donne de bons résultats.

## SUMMARY

A side looking Sonar provides an uni-dimensional image of a slice of the submarine ground. When the successive lines are juxtaposed, they form a two dimensional image.

The problem dealt with in this study is the matching of an image of the ground to another image of the same ground taken previously (map).

The method used is based upon the principles of recursive updating.

A line of the image is first located on the map. Then, the determination of the location of the following line uses an a priori estimation resulting from a rough model of the system dynamics. Fine determination is carried out by local recognition of characteristic features in the images. The variations between the corresponding characteristic features appear to be quasi-linear measurements on the state of the system and they are processed by a Kalman-Bucy type algorithm.

The method has been tested on real images and good results have been obtained.



### 1- INTRODUCTION

Une solution est ici proposée pour recalculer sur une image d'une scène, une autre image de la même scène prise par le même capteur sous d'autres conditions d'observations. L'application décrite ici a pour objet des images SONAR.

La méthode présentée est fondée sur le principe du filtrage récursif : la ligne courante de l'image est décrite comme une fonction connue d'un nombre réduit de paramètres (paramètres de prise de vue). Une modélisation gaussienne-markovienne de ces processus, associée à des mesures linéaires, rend applicable les techniques du filtrage linéaire. Les mesures linéaires sont obtenues par comparaison de la ligne avec son estimée a priori fournie à partir d'une image de référence (carte ou première image).

### 2- MODELISATION DES IMAGES SONAR

L'écho d'une impulsion SONAR fournit une ligne d'image qui représente les points du sol. Quand la source se déplace, les lignes obtenues sont juxtaposées dans l'ordre d'acquisition et forment une image à deux dimensions semblable à une image optique prise en éclairage rasant.

En photographie, la transformation géométrique qui permet de passer d'une surface à une image serait déterminée par les six paramètres de position et d'attitude de la caméra.

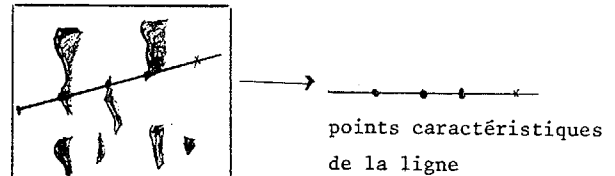
En imagerie Sonar, à chaque instant on enregistre non pas une image à deux dimensions mais une ligne d'images fonction des 6 paramètres à l'instant de la prise de vue.

La détermination de la transformation qui permet de passer du fond à l'image revient à la détermination de l'histoire des paramètres sur un intervalle de temps. Les paramètres de prise de vue sont des paramètres dynamiques de position et d'orientation. On pourra modéliser leur évolution comme un processus à représentation Gaussienne-Markovienne.

### 3- CARACTERISATION DE LA TRANSFORMATION

On réduit l'information contenue dans les images en ne conservant que des éléments caractéristiques. Ces éléments sont des transitions de niveaux de gris représentant avec une assez bonne précision, des crêtes du fond, c'est-à-dire un maximum local

d'altitude. La ligne d'image est donc réductible à un petit nombre de points caractéristiques.



ligne d'image

FIGURE 1

Si l'on connaît les paramètres de prise de vue, on peut synthétiser la ligne d'image à partir de la carte du fond.

Si l'on connaît la ligne d'image et la carte du fond, et s'il n'y a pas ambiguïté, les paramètres de la prise de vue peuvent être retrouvés en mettant en correspondance les points caractéristiques de la ligne avec les lignes de crête de la carte.

Pour réduire l'ambiguïté, on utilise une procédure d'estimation et décision, décrite dans le paragraphe suivant. Cette procédure génère, avant traitement de la ligne courante d'image, des estimées a priori des paramètres de prise de vue pour cette ligne. Ces estimées a priori sont les espérances des paramètres conditionnellement aux mesures prises en compte antérieurement.

### 4- PROCEDURE D'ESTIMATION/DECISION

Différentes hypothèses sur le déplacement de la source ont été étudiées. Dans un premier temps, on a supposé que les lignes d'images étaient parallèles entre elles, cette hypothèse correspond au fait que le système de prise de vue garde une orientation constante.

Les paramètres de prise de vue sont alors :

- la position longitudinale connue par des senseurs externes
- la position latérale.

L'image est peu sensible aux écarts de position verticale.

Si l'on dispose d'une estimation a priori de la position initiale  $x_0, y_0$  et d'un modèle de son évolution  $x_t, y_t$  au cours des lignes successives, on peut, ligne par ligne, estimer la position  $\hat{x}_t, \hat{y}_t$  par comparaison des éléments caractéristiques de la ligne de la deuxième image avec ceux de la première.

Si maintenant, la position longitudinale est connue on sait faire correspondre à toute ligne de la carte une ligne de l'image. Nous avons modélisé la position latérale par un processus du 2ème ordre. On écrit le modèle sous la forme :

$$X_{t+\Delta t} = F X_t + \omega_t \quad \text{où } \omega_t \text{ est un bruit blanc échantillonné de variance } Q.$$

L'algorithme se décompose en quatre parties :

- 1) propagation de l'estimation de la position a priori,
- 2) transformation géométrique de la ligne d'image paramétrée par la position estimée,
- 3) reconnaissance des couples de points caractéristiques dans les lignes correspondantes de la carte et de l'image,
- 4) estimation a posteriori de la position.

Cet algorithme est fondé sur les principes de l'estimation réursive. Le vecteur d'état est de dimension 2 et représente la position et la vitesse.

a) propagation de l'estimation a priori

La propagation de l'estimation se fait formellement selon les équations du filtre de Kalman  $\hat{X} = F\hat{X}^+$   
 $P = FP^+F^T + Q$  où P est la matrice de covariance de l'erreur d'estimation.

b) génération d'une estimée a priori de la ligne

A partir de l'estimée  $\hat{X}(1)$  du paramètre y, on constitue une ligne synthétisée qui est la ligne d'image prédite obtenue en appliquant la transformation définie plus haut paramétrée par le paramètre estimé.

Si l'estimée des paramètres était correcte, la ligne synthétisée et la ligne d'image verraient leurs points caractéristiques superposés.

En réalité, on obtient des écarts entre les points caractéristiques prédits et ceux de la ligne d'images. Les écarts traduisent un écart entre la valeur estimée du paramètre et sa valeur réelle.

Si l'erreur d'estimation est assez faible, on peut linéariser la relation entre l'écart  $\delta r_i$  des abscisses des points correspondants et cette

erreur d'estimation. Pour chaque couple de points associés, l'écart est donc lié à l'erreur d'estimation  $X-\hat{X}$  par une relation de la forme :

$$\delta r_i = C_i(\hat{X}, \hat{r}_i) \cdot (X-\hat{X}) + \epsilon_i$$

la variance  $\sigma_i^2$  de l'erreur  $\epsilon_i$  se déduit de celle de l'erreur d'estimation par une relation de la forme :

$$\sigma_i^2 = C_i P C_i^T + R$$

Cela signifie que le point de l'image sera situé au voisinage du point prédit à l'intérieur d'une fourchette d'erreur de largeur  $2\sigma_i$  (à 95 %).

c) Reconnaissance des couples de points caractéristiques

Le problème réside alors dans l'affectation des points caractéristiques de l'image aux points caractéristiques prédits.

Dans l'hypothèse d'un fond suffisamment plat, l'ordre des points caractéristiques est conservé. Cette propriété importante simplifie l'allocation des points.

La recherche des points associés utilise la propriété qu'un point de l'image se trouve au voisinage d'un point prédit à l'intérieur d'une fourchette d'erreur.

Si les fourchettes sont de petite taille, le nombre des ambiguïtés est réduit. A tout point d'indice i de la ligne de la carte, on associe un point j =  $\tau(i)$  par l'allocation  $\tau$ . L'allocation est dite admissible si elle respecte l'ordre des points (contrainte de non croisement).

La vraisemblance des mesures prises en compte conditionnellement à une hypothèse d'allocation  $\tau$  est de la forme :

$$v(\tau) = - \sum_i \frac{(\hat{r}_j - \hat{r}_i)^2}{\tau_i} + \frac{2}{n} \text{Log} (2\pi\tau_i)$$

où n est le nombre des mesures prises en compte.

L'affectation des points doit optimiser un critère du type maximum de vraisemblance, sur l'ensemble des allocations admissibles. En pratique, le critère tient compte du nombre de points non alloués.

La limitation des ambiguïtés conduit à une importante diminution des recherches de points correspondants par rapport à une exploration combinatoire.



La procédure d'affectation est fondée sur les principes suivants :

- la recherche des points correspondants est limitée à l'intérieur des fourchettes ( $\pm \infty$ )
- une affectation n'est possible que s'il n'y a pas d'ambiguïté
- l'affectation doit respecter l'ordre des points.

#### d) Estimation a posteriori de la position

Pour chaque couple de points mis en correspondance à l'étape précédente, on dispose d'une équation de mesure linéaire entre les écarts  $\delta r_i$  et l'écart  $X - \hat{X}$ .

Avec le modèle choisi, l'observabilité de l'état était assurée. Les équations du filtrage de Kalman permettent alors de calculer une estimée a posteriori  $\hat{X}^+$  de l'état du système. Les équations sont de la forme :

$$\hat{X}_i^+ = \hat{X}_{i-1}^+ + K_i \delta r_i$$

$$P_i = (I - K_i C_i) P_{i-1}$$

$$K_i = (C_i P_{i-1} C_i^T + R)^{-1} P_{i-1} C_i^T$$

$$\text{avec } P_0 = P^- \quad \text{et} \quad \hat{X}_0^+ = \hat{X}^-$$

$$P^+ = P_n^+ \quad \text{et} \quad \hat{X}^+ = \hat{X}_n^+.$$

#### e) Initialisation

La procédure décrite n'est valable que si l'on est assuré de la validité de la linéarisation, c'est-à-dire si l'estimation est suffisamment précise.

L'algorithme ne peut donc être initialisé que si l'on dispose d'une connaissance assez précise de l'état initial. La connaissance initiale des paramètres de prise peut provenir de mesures directes soit être déduite des images par une procédure d'identification.

#### 5- IMPLEMENTATION DE L'ALGORITHME

Dans le paragraphe précédent, on a décrit la procédure de façon schématique. On peut combiner les étapes (b), (c) et (d) de la façon suivante :

pour chaque point  $M_i$  caractéristique de la carte, (b') on élabore une ligne synthétisée à partir des estimées (c') si l'on trouve un et un seul point caractéris-

tique  $N_j$  de l'image dans la fourchette du point  $M_i$  et si le point  $N_j$  n'appartient pas à la fourchette d'un autre point  $M_i'$ , on affecte  $N_j$  à  $M_i$  et l'on passe en (d') ; sinon en (f') (d') on calcule une nouvelle estimée des paramètres d'après la mesure déduite du couple de points précédent (f') passage au point suivant  $M_{i+1}$  de la carte dans l'ordre choisi et retour en (c') ; s'il n'y a pas de point suivant, on passe à la ligne suivante (a).

Cette procédure a l'avantage de réduire les ambiguïtés au cours de l'examen des points consécutifs. Si l'on effectue un deuxième passage sur les points non traités de la ligne, comme le nombre des ambiguïtés est réduit, de nouvelles affectations sont alors possibles et la qualité de l'estimation est améliorée.

La procédure est illustrée sur la figure 2.

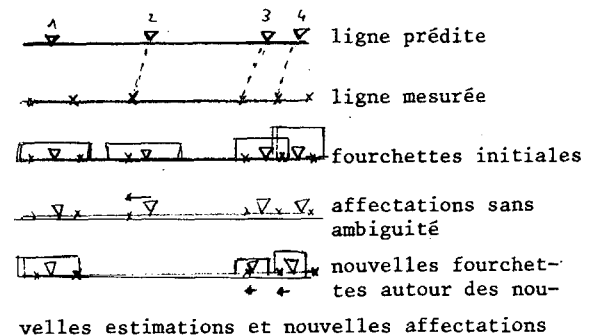


FIGURE 2

#### 6- RESULTATS

L'algorithme a été testé sous les hypothèses simplificatrices exposées plus haut et avec une carte définie simplement à partir d'une image obtenue lors d'un précédent passage (image dite de référence).

L'initialisation précise à partir d'un recalage manuel a été effectuée.

On a constaté une très bonne convergence de l'estimation sur un grand nombre de lignes. Les écarts s'accroissent ensuite du fait du non respect des hypothèses simplificatrices.

La figure 3 représente à gauche l'image synthétisée à partir des estimées a posteriori déduites du trai-



FIGURE 3

Image synthétisée d'après l'image de référence avec les paramètres estimés

deuxième image

tement ligne à ligne. L'image de droite est l'image réelle binarisée. La superposition très bonne des transitions noir-blanc représentatives des lignes de crêtes montre que le recalage a été correctement effectué.

#### 7- AMELIORATION DES ALGORITHMES ET CONCLUSION

Les hypothèses d'une correspondance ligne à ligne ne sont pas nécessaires mais diminuent notablement les recherches.

On peut tenir compte de l'inclinaison et des variations de vitesse du système de prise de vue en utilisant les informations d'orientation des lignes caractéristiques.

Des algorithmes de suivi de contour utilisant les méthodes du filtrage et de l'allocation récursives ont été développés dans ce but.

La prise en compte d'autres informations (telles que la largeur des zones d'ombre et éventuellement l'intensité de l'écho) devrait permettre d'améliorer les performances.

La principale difficulté consiste à empêcher le "décrochage de l'algorithme" qui se traduit par une augmentation rapide de la covariance de l'erreur d'estimation des paramètres.

Malgré ses limitations, la méthode permet de limiter considérablement le nombre de calculs sur des portions d'images et relève de principes très généraux.

D'autres applications, en particulier aux images médicales, ont été envisagées.

#### 8- BIBLIOGRAPHIE

- a) Image correlation with geometric distortion - H.MOSTAFAVI, F.W. SMITH  
Part 1 : acquisition performances IEEE TR AES  
Part 2 : effect on local accuracy N°3 MAY 1978
- b) Traitement d'images. M.RASSEVILLE  
IRISA. Publication interne n°91
- c) "a deterministic approach for evaluation of correlation guidance signature quality" - AIAA  
Mechanics and control of flight conference  
Anaheim, Calif. 5-9 août 1974 - N. DURBORAW III,  
A. BEAVERS, Jr.
- d) Recursive approaches to correlation guidance algorithms - J.D. SHIELDS. W.F. O'HALLORAN  
Conf. on decision and control/symposium on adaptive processes.

